



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **63083227 A**(43) Date of publication of application: **13.04.88**

(51) Int. Cl.

**C21D 8/12**(21) Application number: **61226271**(22) Date of filing: **26.09.86**(71) Applicant: **NIPPON STEEL CORP**(72) Inventor: **ISHII SHINYA  
HIROSE KIKUJI  
EGASHIRA TAKEJI****(54) IMPROVEMENT OF IRON LOSS VALUE OF ELECTRICAL STEEL SHEET**

(57) Abstract:

**PURPOSE:** To improve the iron loss of an electrical steel sheet to the value better than by the conventional method by projecting the YAG laser light condensed by flat field lenses in such a manner as to satisfy the specific conditions and equations and in the direction approximately perpendicular to the rolling direction onto the surface of the steel sheet.

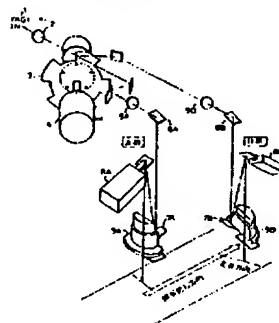
**CONSTITUTION:** The continuously oscillated laser light is projected to the surface of the grain oriented electrical steel sheet in the above-mentioned direction in a manner as to satisfy the conditions I-III and the relational equation IV to improve iron loss value thereof. More specifically, the YAG laser 1 is condensed 2 and is branched to a phase A and phase B by a rotary mirror 3 provided at the focal point. The respective laser beams are condensed by collimating lenses 5A, 5B. The beams are polarized downward by mirrors 6A, 6B and are projected by mirrors 7A, 7B to galvanomirrors 8A, 8B provided right above F&theta; lenses 9A, 9B. As a result, the beams are scanned on the lens faces of the lenses 9A, 9B and are condensed and projected onto the steel sheet S to be treated by the lenses 9A, 9B. The

laser beam treatment is executed approximately perpendicularly to the transverse direction of the steel S by dividing the laser beams to the two beams in the transverse direction of said steel sheet.

COPYRIGHT: (C)1988,JPO&amp;Japio

レーザーパワー P (W)  $40 \leq P \leq 80$   
 レーザービーム径 d (mm)  $0.04 \leq d \leq 0.1$   
 レーザー走査スピード V<sub>r</sub>  
 (mm/sec)  $4000 \leq V_r \leq 6000$

関係式:  
 $40 \leq P \leq 80$ ,  $\angle \theta (d^2 \cdot V_r) \leq 90$   
 但し、θ は電磁鋼板表面に形成された焼結膜の走査角で  $1 \leq \theta \leq 0.8$  である。



(19)日本国特許庁(JP)

(12)特 許 公 報 (B2)

(11)特許出願公告番号

特公平6-19112

(24)(44)公告日 平成6年(1994)3月16日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

C 2 1 D 8/12

B

// H 0 1 F 1/16

B

発明の数1(全 6 頁)

(21)出願番号 特願昭61-226271

(22)出願日 昭和61年(1986)9月26日

(65)公開番号 特開昭63-83227

(43)公開日 昭和63年(1988)4月13日

(71)出願人 999999999

新日本製鐵株式会社

東京都千代田区大手町2丁目6番3号

(72)発明者 石井 信也

兵庫県姫路市広畑区富士町1番地 新日本  
製鐵株式会社広畑製鐵所内

(72)発明者 広瀬 喜久司

兵庫県姫路市広畑区富士町1番地 新日本  
製鐵株式会社広畑製鐵所内

(72)発明者 江頭 武二

兵庫県姫路市広畑区富士町1番地 新日本  
製鐵株式会社広畑製鐵所内

(74)代理人 弁理士 青木 朗 (外4名)

審査官 中村 朝幸

(54)【発明の名称】 電磁鋼板の鉄損値改善方法

1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 方向性電磁鋼板の表面に圧延方向とほぼ直角方向に連続発振レーザー光を照射して、鉄損値を改善する方法において、

フラットフィールドレンズにより集光したYAGの円形スポットを下記条件(a)、(b)、(c)および関係式(d)を満足するように照射して極めて低い鉄損値を得ることを特徴とする電磁鋼板の鉄損値改善方法。

(a) レーザーパワーP(w)  $40 \leq P \leq 80$

(b) レーザービーム径d(mm)  $0.04 \leq d \leq 0.1$

(c) レーザー走査スピードV<sub>s</sub>(mm/sec)  $4000 \leq V_s \leq 6000$

(d) 関係式:

$40 \leq 4 P \eta_1 / \pi (d^3 \cdot V_s)^{1/2} \leq 90$

但し、 $\eta_1$ は電磁鋼板表面に形成された絶縁被膜の透過

2

率で  $1 \geq \eta_1 \geq 0.8$  である。

【発明の詳細な説明】

〔産業上の利用分野〕

本発明は、電磁鋼板の鉄損値の改善方法に関するものであり、さらに詳しく述べるならば、電磁鋼板の表面にレーザー光を照射することにより磁区構造に変化を生じせしめることにより鉄損値を向上せしめる方法に関する。

〔従来の技術〕

電磁鋼板の表面にレーザー光を照射することにより磁区構造に変化を生じせしめることにより鉄損値を向上せしめる技術は、本出願人の特公昭57-2252号をもって嚆矢とし、その後多数の技術が特許として公表されている。レーザー公照射により鋼板に痕跡が残るか否かの観点からレーザー光照射技術を分類することができる。痕跡を残すことが前提になっている技術には、例えば特公昭58

-50297号、特公昭58-50298号である。一方、特開昭59-33802号は連続発振レーザー光を照射に用いると絶縁被膜に損傷を与えることなく磁区の細分化による鉄損値低下が可能であることを開示している。よって、特開昭59-33802号は鋼板に痕跡を残さない技術に分類される。

特開昭59-33802号に開示されたレーザー光照射条件で際立ったところは次の点にあると認められる。走査線が鋼板の移動方向（圧延方向）に対してほぼ直角になり、隣合った走査線間の間隔が適当になるような条件で照射時間制御により最大の磁区細分化を行なうような条件を一般的条件とする。具体的条件としては、（イ）鋼板垂直面でのエネルギー密度の制御、（ロ）レーザービームの断面形状の選定、（ハ）単位面積当たりのレーザーパワー制御についての説明がなされている。

（イ）の制御は鋼板内部への熱の拡散を制御することにより磁区細分化の効果を生じるものである。（イ）の制御対象であるエネルギー密度を決定する要因は、レーザーパワーP、レーザービームが鋼板の幅wを横切るに必要とする走査時間 $t_{scan}$ 、鋼板の幅w、ある特定位置にスポットが滞在する時間 $\Delta t$ 、鋼板の熱拡散率kにより決定される。これらの要因のうち實際上制御の対象となる要因はレーザーパワーPであり、また20～600WのNd-YAGレーザーを高速走査することが良好な結果を与える。またエネルギー密度が高すぎると絶縁被膜の損傷が起る。これを避けるためにはレーザーパワー、走査時間、滞在時間の選定が必要である。（ロ）のレーザービームの断面形状の選定は、絶縁被膜の損傷を生じないである特定位置にスポットが滞在する時間 $\Delta t$ を長くし、磁区細分化効果を高めるものである。具体的には、走査方向に長軸を有する楕円形スポットをシリンドリカルレンズで形成する。（ハ）も絶縁被膜の損傷を生じさせないために上限を制御する要因である。

〔発明が解決しようとする問題点〕

本発明者は、連続発振レーザーにより電磁鋼板の鉄損値を改善する方法において、一層の改善の可能性を目的として実験を行なった。

その過程で、絶縁被膜の非損傷性を調べるため特開昭59-33802号に記載された絶縁破壊電圧を測定する方法の他に、塩酸噴霧試験法を行なって絶縁被膜がレーザー照射により損傷を受けたか否かを検討した。その結果、破壊電圧測定法では非照射絶縁被膜と区別できない照射絶縁被膜の一部が塩酸噴霧により発錆し、被膜が損傷していることが認められた。

さらに、特開昭59-33802号の第3図に記載されたようにレーザーエネルギー密度が高くなると、鉄損は低下するが絶縁被膜が損傷するという関係があり、この特開昭59-33802号に開示されたより更に鉄損を低下しようとする

る時間 $\Delta t$ 、鋼板の熱拡散率kの調節とは別の手法を採用する必要があることが認められた。

〔問題点を解決するための手段〕

本発明は、フラットフィールドレンズにより集光したYAGレーザー光を下記条件（a）、（b）、（c）および関係式（d）を満足するように、かつ円形のスポットとして鋼板に照射して極めて低い鉄損値を得ることを特徴とする。

（a）レーザーパワーP（w）  $40 \leq P \leq 80$

10 （b）レーザービーム径d（mm）  $0.04 \leq d \leq 0.1$

（c）レーザー走査スピード $V_s$ （mm/sec）  $4000 \leq V_s \leq 6000$

（d）関係式：

$40 \leq 4 P \eta_1 / \pi (d^3 \cdot V_s)^{1/2} \leq 90$

但し、 $\eta_1$ は電磁鋼板表面に形成された絶縁被膜の透過率である。

以下、本発明を詳しく説明する。

上記した関係式  $4 P \eta_1 / \pi (d^3 \cdot V_s)^{1/2}$  はエネルギー密度を表わす

20  $4 P / \pi (d^3 \cdot V_s)^{1/2}$  ……（1）

の項を含む。（1）式は

$P / \{ (\pi / 4) \cdot d^2 \}$  ……（2）と

$(d / V_s)^{1/2}$  ……（3）

の積である。（2）式は円形スポット面積当たりのレーザーパワーを表わし、また（3）式は直径（d）のそのレーザースポットが鋼板に滞在する時間の因子である。

（2）式と（3）式の積により鋼板への投入熱量が定まる。

30  $\eta_1$ は絶縁被膜のYAGレーザー波（波長 $1.06 \mu m$ ）に対する透過率である。 $\eta_1$ は、あらかじめ透過率の判明しているガラス上に皮膜を塗布し、レーザー光を照射した時、ガラスの反対側に設置したパワーメータにて透過レーザーパワーを測定することにより、得られる。

$\eta_1$ は皮膜中の酸素量の多少により変化するが、鉄損効果を十分得る条件としては十分な地鉄への投入熱量を得るためには、 $\eta_1$ はすくなくとも0.8以上必要である。

40 よって絶縁被膜の状態によって適切な投入熱量を得ることが重要である。なお、絶縁被膜の状態を変える最大の要因は原板の鉄損を良好にすべく為されている脱炭焼鈍雰囲気制御、絶縁被膜の組成調整であり、これらは重要な技術であるが、絶縁被膜の色調を変化させてレーザー照射効果を著しく変動させる原因となる。

YAGレーザーを用いて、 $\eta_1 = 0.85$ である電磁鋼板についてレーザービーム形状および  $4 P / \pi (d^3 \cdot V_s)^{1/2}$  を変化させて、鉄損（ $W_{17/50}$ ）および耐性を測定した結果を示す第1図を参照として、さらに本発明の説明を行なう。第1図で供試した電磁鋼板は厚さ0.23mmであり、磁気特性が鉄損  $W_{17/50} = 0.913 W/K$ 、磁束密度  $B_{10} = 1.934 T$  であり、絶縁被膜はアルミ

50 g、磁束密度  $B_{10} = 1.934 T$  であり、絶縁被膜はアルミ

5

ナとコロイダルシリカを主体とするものである。

第1図の下側横軸は、レーザーパワーP、レーザービーム径d、レーザー走査速度V<sub>s</sub>を特許請求の範囲の値内で変化させて与えたエネルギー密度4P/π

(d<sup>3</sup>・V<sub>s</sub>)<sup>1/2</sup>を表わす。上側横軸は特開昭59-33802号に示されたエネルギー密度E/A<sub>v</sub>である。

レーザービームスポットの幾何学形状を、(イ)円形、直径d>0.1mm(上限10mm)、(ロ)円形、直径d=0.04~0.1mm、(ハ)楕円、長径a=20mm、短径b=0.2mmの三種類で変化させた。なお、楕円についてはa・b=d<sup>2</sup>として横軸のエネルギー密度を計算した。上記諸条件でレーザーを測定した後鉄損(W<sub>17/50</sub>)を通常の方法で測定し、また被膜損傷の有無を5% HCl 溶液に5時間噴霧し、その後24時間放置して発錆の有無により評価した。

第1図から明らかなように、d=0.04~0.1mmの細径円径スポットを高いエネルギー密度で照射すると鉄損が著しく低下した絶縁被膜の損傷が起るエネルギー密度が高い値にずれる。これに対して楕円形スポットで照射すると、鉄損低下が顕著でなく、かつ低いエネルギー密度で絶縁被膜の損傷が起る。d>0.1mmの太径円形スポットは細径円形スポットと楕円形スポットの中間的挙動を示す。

以下、本発明における数値限定理由を説明する。

d=0.04~0.1mmの円形スポットを用いることにしたのは、第1図を参照して説明したように絶縁被膜の損傷を招かずに、エネルギー密度を高めて著しく低い鉄損を達成することができるからである。レーザービームの径dはビームエキスパンダーで調節する。レーザービームのスポットの円形形状はフラットフィールドレンズで得られる。

4Pη<sub>1</sub>/π(d<sup>3</sup>・V<sub>s</sub>)<sup>1/2</sup>を40以上としたのは、これ未満の投入熱量であると鉄損の改善効果が低く、原板(レーザー照射前の一方向性電磁鋼板)に対する改善が10%を越えないからである。4hη<sub>1</sub>/π(d<sup>3</sup>・V<sub>s</sub>)<sup>1/2</sup>を90未満としたのは、これを越えると絶縁被膜の損傷が起るからである。なお、投入熱量が90を越えても、絶縁被膜の破壊電圧が急激に低下するという問題はないが、レーザー照射後の鋼板が需要家もしくは製造者の工場で在庫されたときに錆が発生する問題が起り得る。こうなると外観不良の問題に留らず、耐電圧不良等の重大な品質上の欠陥を生じる。

レーザーパワーPとレーザー走査速度V<sub>s</sub>は現在実現可能なレーザーパワーの中で低めの範囲と、高速走査速度を組み合わせることによって絶縁被膜損傷傾向を抑制するように定めた。低いパワーのレーザーを高速で走査するとエネルギー投入量が少なくなり、鉄損改善効果が少なくなるという不都合が起るが、この点はビームのスポット形状を円形に特定するとともにビーム径を極めて小さい0.04~0.1mmに特定することにより、解

6

決した。レーザーパワーPが40wを下回りまたレーザー走査速度V<sub>s</sub>が6m/secを越えると、レーザービーム径dを極端に小さくしなければ、所定の4Pη<sub>1</sub>/π(d<sup>3</sup>・V<sub>s</sub>)<sup>1/2</sup>を維持することができず、また仮令維持できたにせよ鉄損改善効果は優れない。レーザーパワーPが80wを越えまたレーザー走査速度V<sub>s</sub>が4m/secを下回ると、逆にレーザービーム径dを大きくしなければならず、絶縁被膜が損傷し易くなりまた鉄損改善が優れない。レーザーパワーは通常のパワーメーターで測定する。走査速度はスポットの鋼板との相対速度の計算値による。

さらに本発明の実施する好ましい装置について第2図を参照として説明する。

YAGレーザー1は集光レンズ2で集光され、集光点に設けられている回転ビームスプリットミラー3(駆動モーター4で回転)でレーザーはA相及びB相に分岐され、A相、B相夫々のレーザー光線はコリメートレンズ5A、5Bにて集光される。そしてミラー6A、6Bで下方へ偏光され、ミラー7A、7BでFθレンズ9A、9Bの直上に設けられているガルバーミラー8A、8Bに照射してFθレンズ9A、9Bのレンズ面にスキャニングし、Fθレンズ9A、9Bにより被処理鋼板S上に集光照射される。而して被処理鋼板Sの巾方向にA、B2分担任して巾方向にほぼ直角にレーザービーム処理が行われるものである。

さらに、本発明の実施例を説明する。

〔実施例〕

レーザー照射した一方向性電磁鋼板は次のとおりである。

表 1

| 符号 | 厚さ<br>(mm) | 鉄損<br>W <sub>17/50</sub> | 磁束密度<br>B <sub>10</sub> (T) | 透過率<br>(η <sub>1</sub> ) |
|----|------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| A  | 0.23       | 0.913                    | 1.934                       | 0.85                     |
| B  | 0.23       | 0.891                    | 1.936                       | 0.85                     |
| C  | 0.23       | 0.885                    | 1.939                       | 0.85                     |
| D  | 0.23       | 0.895                    | 1.947                       | 0.85                     |

YAGレーザー照射条件は次のとおりである。

表 2

| 因子  | Y1   | Y2   | Y3   |
|---|------|------|------|
| レーザーパワー<br>(W)                                  | 80   | 40   | 60   |
| 走査速度<br>(mm/sec)                                | 4615 | 4615 | 4615 |
| ビーム直径 (mm)                                      | 0.1  | 0.04 | 0.07 |
| パワー密度<br>(10 <sup>4</sup> W/mm <sup>2</sup> )*1 | 1.02 | 3.18 | 1.56 |

7

| 因子                            | Y1   | Y2  | Y3   |
|-------------------------------|------|-----|------|
| パワー投入量*2<br>( $\eta_1=0.85$ ) | 40   | 79  | 52   |
| 入射角度 (°)                      | 90   | 90  | 90   |
| 入射距離 (mm)                     | 135  | 135 | 135  |
| 走査間隔 (mm)                     | 90   | 90  | 90   |
| 滞在時間*3<br>( $\mu\text{sec}$ ) | 19.5 | 8.6 | 15.1 |

備考

$$\text{鉄損改善率 (\%)} = \frac{(W_{1750} \text{照射前} - W_{1750} \text{照射後}) \times 100}{W_{1750} \text{照射前}}$$

表 3

|    | A             | B             | C             | D             |
|----|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Y1 | 発錆なし<br>10.8% | 発錆なし<br>9.5%  | 発錆なし<br>9.8%  | 発錆なし<br>10.9% |
| Y2 | 発錆なし<br>10.5% | 発錆なし<br>10.1% | 発錆なし<br>10.7% | 発錆なし<br>11.2% |
| Y3 | 発錆なし<br>11.0% | 発錆なし<br>10.2% | 発錆なし<br>11.3% | 発錆なし<br>10.9% |

表3の各試験例では塩酸噴霧試験による発錆はいずれも認められなかった。

比較のために下記条件でレーザー照射を行なった。

表 4

| 因子                                    | XY1  | XY2  |
|---------------------------------------|------|------|
| レーザーパワー (W)                           | 50   | 50   |
| 走査スピード (mm/sec)                       | 4615 | 4615 |
| ビーム直径 (mm)                            | 0.1  | 0.04 |
| エネルギー密度<br>( $10^4 \text{W/mm}^2$ )*1 | 0.64 | 6.37 |
| エネルギー投入量*2<br>( $\eta_1=0.85$ )       | 25   | 99   |
| 入射角度 (°)                              | 90   | 90   |
| 入射距離 (mm)                             | 135  | 135  |
| 走査間隔 (mm)                             | 90   | 90   |

8

\*1 - (2) 式と同じ

\*2 -  $4 P \eta_1 / \pi (d^3 \cdot V_s)^{1/2}$  と同じ\*3 -  $d$  / 走査スピード

第4に示す条件の組み合わせでレーザー照射を行ない、鉄損改善率を次の式で計算して求めた。

10

\*

 $W_{1750}$  照射前

| 因子                            | XY1  | XY2 |
|-------------------------------|------|-----|
| 滞在時間*3<br>( $\mu\text{sec}$ ) | 21.6 | 8.6 |

備考: XYはYAGレーザーを意味する。

20 鉄損改善率および塩酸噴霧試験による発錆の有無を次表に示す。

表 5

|   | XY1       | XY2        |
|---|-----------|------------|
| A | 発錆なし 4.5% | 発錆あり 10.8% |
| B | // 3.6%   | // 11.2%   |
| C | // 5.1%   | // 12.1%   |
| D | // 4.9%   | // 11.9%   |

30

【発明の効果】

本発明によると、従来の連続発振レーザー照射により鉄損を改善する方法より一層の鉄損の改善と一層良好な絶縁膜健全性を同時に達成することができた。

【図面の簡単な説明】

第1図はYAGレーザーの投入熱量と鉄損の関係を、スポット形状のパラメータとして示すグラフ、第2図はスキャナ内光路図を示す図面である。

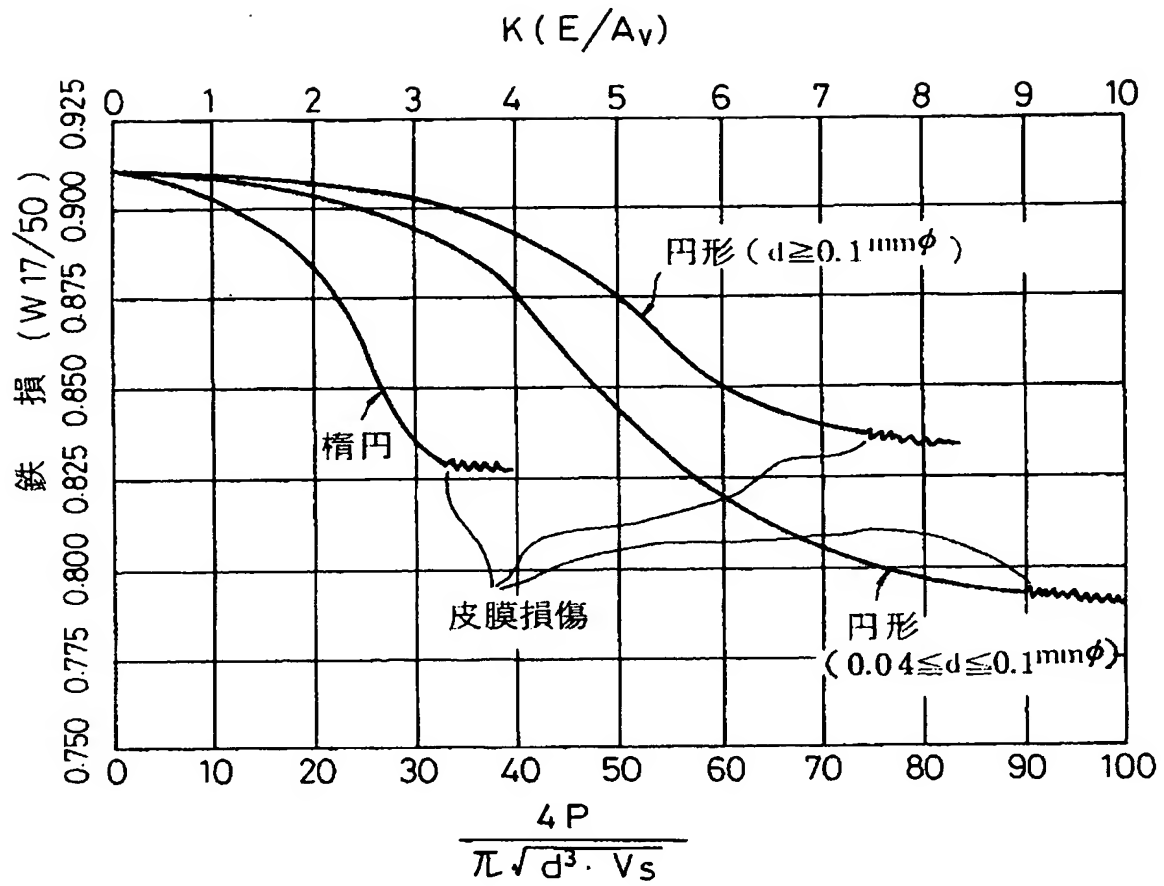
1……YAGレーザー、2……集光レンズ、

3……回転ビームスプリットミラー、

40 5……コリメートレンズ、6、7……ミラー、

8……ガルバ、9……F $\theta$ レンズ。

【第1図】



【第2図】

